

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 541.1 + 541.124

О МЕТОДЕ НАХОЖДЕНИЯ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

В. С. АКОПЯН

Ереванский физический институт

Поступило 28 IV 1986

Изложен общий метод нахождения стехиометрических коэффициентов химических реакций, посредством которого можно не только заранее выделить теоретически возможные схемы реакций, но и найти условие, при котором наборы стехиометрических коэффициентов оказываются неединственными.

Библ. ссылок 4.

По определению, химической реакцией между веществами  $A_1, A_2, \dots, A_n$  называется такое взаимодействие на атомно-молекулярном уровне, в результате которого образуются новые вещества  $A_{n+1}, A_{n+2}, \dots, A_{n+k}$ .

Постановка задачи такова:

1. Заданы исходные вещества  $A_1, \dots, A_n$ . Требуется установить, возможен ли канал

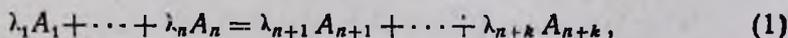


2. Если да, то набор приравнивающих коэффициентов единственный ли? Как его можно найти? Иначе: требуется найти всевозможные линейно-независимые наборы стехиометрических коэффициентов для данной реакции.

3. Установить, какой именно набор коэффициентов среди всех существующих правильно описывает механизм данной реакции.

Обычно принципиально возможные каналы данной реакции мы вынуждены предугадывать, основываясь на свойствах реагирующих веществ. Не лучше обстоит дело и при нахождении стехиометрических коэффициентов. Здесь имеются две возможности: либо прямой, удачный подбор, либо электронный баланс для данного окислительно-восстановительного процесса. Но, к сожалению, помимо чисто технических трудностей (например, в случае органических веществ), в этом случае имеется известная неопределенность.

Если задана реакция



то на набор  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n, \lambda_{n+1}, \dots, \lambda_{n+k})$  естественно было бы наложить следующие химические ограничения:

1.  $\lambda_1 A_1 + \dots + \lambda_n A_n = \lambda_{n+1} A_{n+1} + \dots + \lambda_{n+k} A_{n+k}$

2.  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n, \lambda_{n+1}, \dots, \lambda_{n+k})$  числа являются натуральными.

3.  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n, \lambda_{n+1}, \dots, \lambda_{n+k})$  приравнивающая матрица-строка является единственной для данной схемы реакции. Иначе говоря, любой другой набор, удовлетворяющий той же схеме, должен быть связан с прежним набором посредством формулы:

$$(\lambda_1, \dots, \lambda_{n+k}) = \delta (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{n+k}) \quad (2)$$

где  $\delta$ —дробь с натуральными числителем и знаменателем. В противном случае данная схема неосуществима.

Суть предложенного метода для анализа принципиально возможного качественно-количественного канала химической реакции заключается в следующем. Допустим,  $A_i$ —вещества, в состав молекул которых входят элементы  $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_p$ . Выбирая определенную последовательность этих элементов, каждой молекуле, участвующей в нашей схеме, ставится в соответствие некая символическая матрица  $B_i$ , строки которой построены по правилу: первая строка показывает количество атомов данных элементов, входящих в состав молекулы, вторая строка—их степени окисления, остальные строки—соответственно заряды атомов данных элементов и массовые числа. Согласно [1—3], каждой схеме реакции можно ставить в соответствие некое матричное уравнение

$$\lambda_1 B_1 + \dots + \lambda_n B_n = \lambda_{n+1} B_{n+1} + \dots + \lambda_{n+k} B_{n+k}, \quad (3)$$

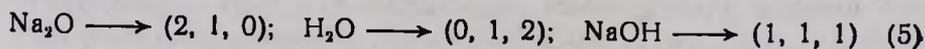
где  $B_i$ —вышеописанные матрицы за исключением вторых строк. На основании равенства (3) можно составить систему линейных однородных уравнений с  $(n+k)$  неизвестными, причем число уравнений, очевидно, совпадает с числом участвующих в рассматриваемой схеме элементов. Именно по этой же причине возникают те закономерности и трудности, которые будут рассмотрены в этой статье.

Рассмотрим следующие случаи:

а) Общее число реагентов и продуктов реакции равно числу элементов, участвующих в данной реакции, например,



Выберем последовательность элементов: Na, O, H. Для первых строк матриц  $B_i$ , получим соответственно



Следовательно,

$$\lambda_1(2, 1, 0) + \lambda_2(0, 1, 2) = \lambda_3(1, 1, 1) \quad (6)$$

или же в развернутом виде:

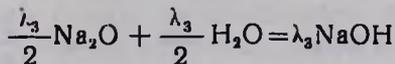
$$\begin{cases} 2\lambda_1 + 0 \cdot \lambda_2 - \lambda_3 = 0 \\ \lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_3 = 0 \\ 0 \cdot \lambda_1 + 2\lambda_2 - \lambda_3 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

(7)—однородная система трех уравнений с тремя неизвестными. По теореме Кронекера-Капеллы, она обладает нетривиальным решением

тогда и только тогда, когда детерминант основной матрицы равен нулю. Имеем:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 0 & 2 & -1 \end{vmatrix} = 0$$

Тогда из (7), очевидно, получается:  $\lambda_1 = \frac{\lambda_3}{2}$ ;  $\lambda_2 = \frac{\lambda_3}{2}$ ;  $\lambda_3 \neq 0$ . Следовательно, в полном согласии с пунктами (1—3), для реакции (5) получим:



или же:



Рассмотрим иной пример:



Выбирая последовательность элементов: Na, O, H, получим

$$\lambda_1(2, 2, 0) + \lambda_2(0, 1, 2) + \lambda_3(1, 1, 1) = 0$$

или же:

$$\begin{cases} 2\lambda_1 + 0 \cdot \lambda_2 - \lambda_3 = 0 \\ 2\lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_4 = 0 \\ 0 \cdot \lambda_1 + 2\lambda_2 - \lambda_3 = 0 \end{cases} \quad (10)$$

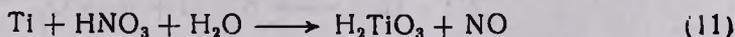
Детерминант основной матрицы дает:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & -1 \\ 0 & 2 & -1 \end{vmatrix} = -2 \neq 0.$$

Следовательно, схема (9) неосуществима, ибо система (10) не обладает нетривиальным решением.

б) Общее число веществ на одну единицу превышает число участвующих в реакции элементов.

Обычно такие реакции встречаются чаще всего. Например, реакция титана с концентрированной азотной кислотой (4 элемента и пять веществ):



Имеем Ti, H, N, O. Следовательно,

$$\lambda_1(1, 0, 0, 0) + \lambda_2(0, 1, 1, 3) + \lambda_3(0, 2, 0, 1) - \lambda_4(1, 2, 0, 3) - \lambda_5(0, 0, 1, 1) = 0$$

или же:

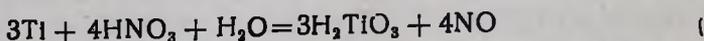
$$\begin{cases} \lambda_1 - \lambda_4 = 0 \\ \lambda_2 + 2\lambda_3 - 2\lambda_4 = 0 \\ \lambda_2 - \lambda_5 = 0 \\ 3\lambda_2 + \lambda_3 - 3\lambda_4 - \lambda_5 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Система (12) будет обладать нетривиальным решением, если ранг основной матрицы будет равен рангу расширенной матрицы, что в случае (12) имеет место. Следовательно, из (12) получим:

$$\lambda_4 = \lambda_1; \quad \lambda_2 = \lambda_5; \quad \lambda_5 + 2\lambda_3 - 2\lambda_1 = 0; \quad \lambda_3 = \frac{2\lambda_1 - \lambda_5}{2}$$

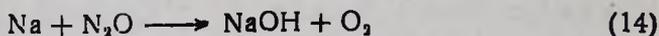
$$\lambda_1 = \frac{3}{4}\lambda_5; \quad \lambda_3 = \lambda_2; \quad \lambda_3 = \frac{\lambda_5}{4}; \quad \lambda_4 = \frac{3}{4}\lambda_5; \quad \lambda_5 \equiv \lambda_5$$

или же:



Для этой реакции любой набор приравнивающих коэффициентов есть кратное полученного, так что никаких недоразумений не может быть. Здесь уместно продемонстрировать возможность предлагаемого формализма.

Рассмотрим пример:



Покажем, что такой путь исключается. Выбирая последовательность элементов в порядке Na, O, H, получим:

$$\lambda_1(1, 0, 0) + \lambda_3(0, 1, 2) = \lambda_2(1, 1, 1) + \lambda_4(0, 2, 0) \quad (15)$$

(15) в развернутом виде дает:

$$\begin{cases} \lambda_1 - \lambda_2 = 0 \\ \lambda_2 - \lambda_3 - 2\lambda_4 = 0 \\ 2\lambda_3 - \lambda_3 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_1 = \lambda_2 > 0 \\ \lambda_2 = \frac{\lambda_3}{2} > 0 \\ \lambda_4 = -\frac{\lambda_3}{4} \end{cases}$$

но с учетом пунктов (1—3)  $\lambda_3$  должен быть положительным, а тогда  $\lambda_4$  оказывается отрицательным, что противоречит нашим элементарным соображениям (1—3).

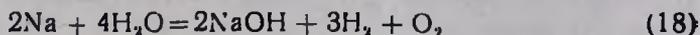
Рассмотрим иной гипотетический канал:



После очевидных действий приходим к решению:

$$\begin{cases} \lambda_1 = 2\lambda_4 + 4\lambda_5 > 0, & \lambda_2 = 2\lambda_4 - 2\lambda_5 > 0 \\ \lambda_3 = 2\lambda_4 - 4\lambda_5 > 0, & \lambda_4 \equiv \lambda_4; \quad \lambda_5 \equiv \lambda_5 \end{cases} \quad (17)$$

Выбирая  $\lambda_4$  и  $\lambda_5$  как любые натуральные числа, удовлетворяющие (17), получим бесчисленные наборы приравнивающих коэффициентов для одной и той же реакции. Это кажется нам противоестественным и, взяв в качестве постулата условие (2), можно опровергнуть такой возможный исход взаимодействия натрия с водой. Такой вывод подтверждается, наряду с этим, и термодинамическими соображениями. Например, рассмотрим два набора приравнивающих коэффициентов:



Взяв из таблиц [4] значения стандартных потенциалов Гиббса, для обоих случаев получим строго положительную величину, что с практической точки зрения не допускает возможности такой реакции.

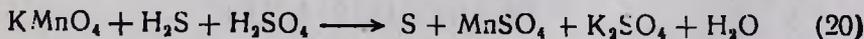
Итак, казалось бы, пункты (1—3) в сочетании со вторым принципом термодинамики могут служить необходимыми и достаточными условиями для протекания химической реакции слева направо. Но такая надежда не оправдывается.

в) Общее число веществ на две единицы превышает число элементов, участвующих в данной реакции.

Как известно, в термодинамике в качестве разумного постулата берется идея о естественном стремлении процессов к минимуму химического потенциала. При химических превращениях особо важным фактором служит так называемый потенциал Гиббса  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ . Для принципиально возможного протекания данной реакции  $A \rightarrow B$  слева направо берется известный термодинамический критерий: если  $\Delta G < 0$ , то данная реакция в принципе возможна; и такая возможность тем больше, чем меньше отрицательное значение  $\Delta G$  для рассматриваемой реакции. Этот всеобщий критерий как бы образует энергетический барьер на пути теоретически предлагаемых реакций, пусть даже уже формально приравненных.

Если задана неоднородная система  $n$  линейных уравнений с  $m$  неизвестными, причем  $n < m$ , то, по известной теореме Кронекера-Капеллы, система совместима, если ранг основной матрицы совпадает с рангом расширенной матрицы, причем число так называемых фундаментальных решений (т. е. линейно независимых решений) равно  $m - r$ , где  $r$  — ранг основной матрицы.

В этом плане рассмотрим реакцию перманганата калия с сероводородом в кислой среде:



Выберем последовательность элементов K, Mn, O, H, S.

Будем иметь:

$$\begin{aligned} & \lambda_1(1, 1, 4, 0, 0) + \lambda_2(0, 0, 0, 2, 1) + \lambda_3(0, 0, 4, 2, 1) = \\ & = \lambda_4(0, 0, 0, 0, 1) + \lambda_5(0, 1, 4, 0, 1) + \lambda_6(2, 0, 4, 0, 1) + \lambda_7(0, 0, 1, 2, 0) \end{aligned}$$

или же:

$$\begin{cases} \lambda_1 - 2\lambda_6 = 0 \\ \lambda_1 - \lambda_5 = 0 \\ 4\lambda_1 + 4\lambda_3 - 4\lambda_2 - 4\lambda_6 - \lambda_7 = 0 \\ 2\lambda_2 + 2\lambda_3 - 2\lambda_7 = 0 \\ \lambda_2 + \lambda_3 - \lambda_4 - \lambda_5 - \lambda_6 = 0 \end{cases} \quad (21)$$

В однородной системе (21) имеется пять уравнений с семью неизвестными. Их решение:

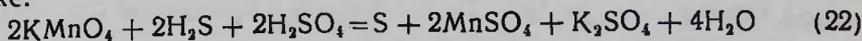
$$\lambda_1 = 2\lambda_6; \quad \lambda_2 = \frac{3}{4}\lambda_7 - \lambda_6 > 0; \quad \lambda_3 = \frac{\lambda_7}{4} + \lambda_6 > 0; \quad \lambda_4 = \lambda_7 - 3\lambda_6 > 0$$

$$\lambda_5 = 2\lambda_6 > 0; \quad \lambda_6 \equiv \lambda_6; \quad \lambda_7 \equiv \lambda_7.$$

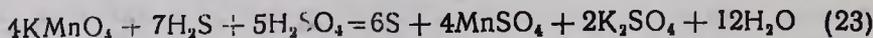
Выбирая, например,  $\lambda_6 = 1$ , для  $\lambda_7$  получим допустимые значения  $\lambda_7 = 4, 5, 6, 7, 8, \dots$ . Берем пару:  $(\lambda_6, \lambda_7) = (1, 4)$ , тогда получим набор:

$$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7) = (2, 2, 2, 1, 2, 1, 4)$$

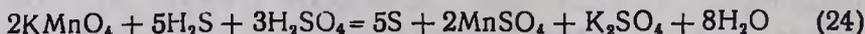
или же:



Для пары  $(\lambda_6, \lambda_7) = (1, 6)$  получим:



Наконец, для пары (1,8) получим именно тот случай, который приводится в учебниках по химии:



В этом примере мы сталкиваемся с двумя трудностями, а именно, с одной стороны, можно выписать многочисленные наборы приравнивающих коэффициентов, которые не подчинятся чисто химическому ограничению:

$$(\lambda_1, \dots, \lambda_{n+k}) = \delta(\eta_1, \dots, \eta_{n+k})$$

например:

$$\begin{aligned} &(2, 8, 4, 9, 2, 1, 12) \\ &(2, 5, 3, 5, 2, 1, 8) \\ &(2, 2, 2, 1, 2, 1, 4) \\ &(4, 7, 5, 6, 4, 2, 12) \\ &(2, 11, 5, 13, 2, 1, 16) \\ &(2, 14, 6, 17, 2, 1, 20) \end{aligned} \quad (25)$$

С другой стороны, число фундаментальных решений в данном случае равняется двум, т. е. у системы (21) существуют два решения, линейно не зависящих друг от друга, например, первые два решения (25). Это означает, что любое другое решение можно получить как некую линейную комбинацию этих двух решений.

Напомним, что система математических объектов  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$  называется линейно независимой, если их линейная комбинация  $\alpha_1\sigma_1 + \alpha_2\sigma_2 + \dots + \alpha_n\sigma_n$  равна нулю тогда и только тогда, когда все числа  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  равны нулю. Эта же система называется линейно зависимой, если их линейная комбинация равна нулю, но не все числа  $\alpha_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) нули. Например, в (25) наборы  $\lambda_i = (2, 5, 3, 5, 2, 1, 8)$ ,  $\eta_i = (2, 2, 2, 1, 2, 1, 4)$  линейно независимы.

Действительно,

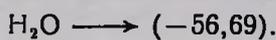
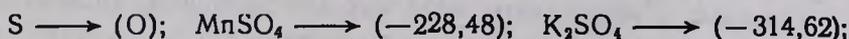
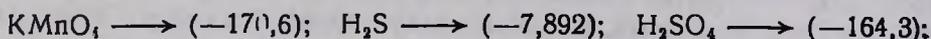
$$\alpha_1(2, 5, 3, 5, 2, 1, 8) + \alpha_2(2, 2, 2, 1, 2, 1, 4) = 0$$

следовательно,

$$\begin{cases} 2\alpha_1 + 2\alpha_2 = 0 \\ 5\alpha_1 + 2\alpha_2 = 0 \end{cases}$$

Эта система имеет только одно решение:  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ , тогда как любые три набора (25) уже линейно зависимы. Таким образом, остается проверить критерий Гиббса  $\Delta G > 0$  в надежде на то, что все наборы (25), за исключением второго набора (общепринятый набор), обеспечат положительные значения потенциала Гиббса:  $\Delta G > 0$ .

Для стандартных значений  $\Delta G_{298}^0$  имеем (в единицах ккал/моль).

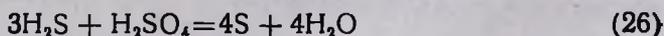


Тогда для первых двух наборов получим соответственно:

$$\Delta G_1 = -390,324; \quad \Delta C_2 = -351,44.$$

Но второе значение (общепринятое) по абсолютному значению намного меньше первого. Для того, чтобы выяснить, какой именно набор приравнивающих коэффициентов соответствует истине в физико-химическом аспекте [ведь у нас два независимых решения, например, любая пара (25)], было бы разумно выдвинуть следующее правило.

Если для данной реакции можно подобрать различные независимые наборы коэффициентов, то необходимо разбить ее на систему подреакций (если они имеются), найти их единственные наборы приравнивающих коэффициентов и соответственно суммировать. В нашем случае такой подреакцией может служить реакция:



(26) можно получить вычетом из первого набора (25) второго. Следовательно, в реагирующей среде одновременно могут идти две реакции: реакция (22) с набором (2, 2, 2, 1, 2, 1, 4) и реакция (26) с набором (3, 3, 1, 4, 0, 0, 4), или же (24) и (26).

Тогда мы должны доказать, что любой другой набор есть линейная комбинация этих двух. Например:

$$(2, 5, 3, 5, 2, 1, 8) = L_1(2, 2, 2, 1, 2, 1, 4) + L_2(0, 3, 1, 4, 0, 0, 4)$$

отсюда:  $L_1 = L_2 = 1$ .

Итак, общепринятый набор оказывается в действительности линейной комбинацией двух, не совпадающих с ней, реакций. Если же реакцию возможно приравнять бесчисленными способами, но нет подреакций, то данная реакция протекать не может (реакция (16)). Это ограничение может служить отправной точкой для теоретического поиска возможных каналов реакций без непосредственного опыта.

В заключение покажем, что метод электронного баланса совпадает с предлагаемым и, следовательно, приводит к тем же неоднозначностям. Отправной точкой является понятие степени окисления, которое в определенном смысле условно, и единственное, что требуется от элементов, входящих в состав данной сложной молекулы, это чтобы их степени окисленности были такими, чтобы молекула в целом была электронейтральной. В этом плане степень окисленности непременно связывается с валентностью. Рассмотрим ту же реакцию (20). В молекуле  $\text{KMnO}_4$  степень окисленности (+7), и мы имеем:  $(1, 1, 4, 0, 0)$ .  $(1, X - 2, 0, 0) = 1 + X - 8 + 0 + 0 = 0$ ;  $X = 7$ . В молекуле же  $\text{MnSO}_4$  обязательно берется  $\text{Mn} - (+2)$ , и этим действительно достигается цель:

$$(0, 1, 4, 0, 1) \cdot (0, +2, -2, 0, +6) = 0 + 2 - 8 + 6 = 0.$$

Поскольку количество отданных электронов должно совпадать с количеством присоединенных, то можно найти коэффициенты у  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Остальные коэффициенты либо находят подбором, либо вынужденно обращаются к системе линейных уравнений. Но ведь именно здесь кроется некорректность.

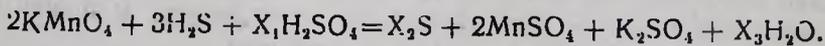
В самом деле, допустим, в молекуле  $\text{MnSO}_4$  степени окисления марганца и серы равны соответственно +4, +4. Тогда будем иметь (при выбранной последовательности)

$$(0, 1, 4, 0, 1) \cdot (0 + 4, -2, 0 + 4) = 4 - 8 + 4 = 0$$

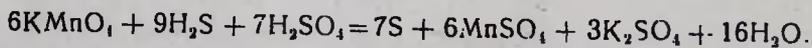
Итак, имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mn}^{+7} + 3e = \text{Mn}^{+4} \\ \text{S}^{-2} - 2e = \text{S}^0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2 \\ 3 \end{array}$$

Следовательно, возле  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{H}_2\text{S}$  будем иметь коэффициенты 2, 3. Получим:



Отсюда при последовательности O, H, S получим:  $\text{X}_1 = \text{X}_2 = \frac{7}{3}$ ;  $\text{X}_3 = \frac{16}{3}$



В полученном результате мы должны обеспечить равенство количеств отданных и присоединенных электронов. Из уравнения реакции, очевидно, следует, что  $7\text{S}^{-9}$  из  $9\text{H}_2\text{S}$  отдали по два электрона, что в сумме дает 14 электронов; остальные два  $\text{S}^{-2}$  отдали по шесть электронов, превращаясь в  $\text{S}^{+4}$ , что в сумме дает еще 12 электронов. В итоге, 26 электронов. Одновременно три  $\text{S}^{+6}$  в молекуле сохранили свою стес-

пень окисленности (сопоставляются  $7\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $3\text{K}_2\text{SO}_4$ ), остальные четыре  $\text{S}^{+6}$  присоединили по два электрона каждый (в сумме всего 8 электронов), превращаясь в  $4\text{S}^{+4}$  (следует обратить внимание на то, что имеется 6 молекул  $\text{MnSO}_4$ , т. е.  $4+2$ ). С другой стороны, из  $6\text{Mn}^{+7}$  получается равно  $6\text{Mn}^{+4}$ , следовательно,  $6\text{Mn}^{+7}$  должны взять всего  $6 \cdot 3 = 18$  электронов. Итак, количество присоединенных электронов  $8+18=26$ .

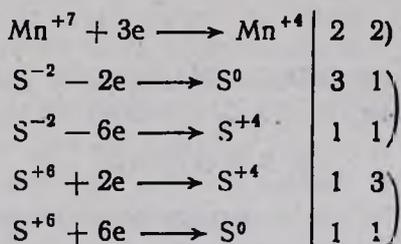
Набор коэффициентов реакции (27) линейно независимый, но, как и следовало ожидать, этот же набор есть линейная комбинация первого набора (25) и набора подреакции (26). Действительно,

$$(6, 9, 7, 7, 6, 3, 16) = L_1(2, 2, 2, 1, 2, 1, 4) + L_2(0, 3, 1, 4, 0, 0, 4)$$

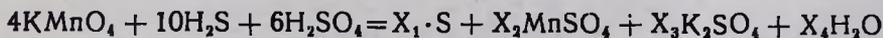
отсюда  $L_1 = 3$ ;  $L_2 = 1$ .

Этот факт ясно показывает, что даже метод электронного баланса не обеспечивает однозначности, но трудность снимается (хотя бы в количественном аспекте) введением понятия подреакции. Ведь в реакции  $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{H}_2\text{O}$  вопрос отданных и присоединенных электронов в точности согласуется с нашими рассуждениями относительно реакции (27).

Покажем, наконец, что представление  $\text{Mn}^{+4}\text{S}^{+4}\text{O}_4^{-2}$  может привести даже к общепринятому набору (2, 5, 3, 5, 2, 1, 8). Для этого составим следующую естественную схему:

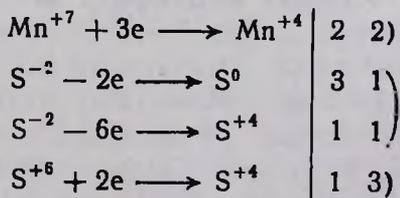


Отсюда получим:



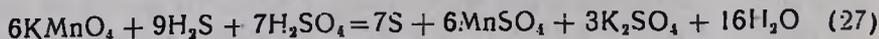
Найдя  $\text{X}_1$ ,  $\text{X}_2$ ,  $\text{X}_3$ ,  $\text{X}_4$  и сокращая на два, получим именно тот набор коэффициентов, который приводится во всех без исключения учебниках по химии, правда, в предположении, что имеется  $\text{Mn}^{+2}\text{S}^{+6}\text{O}_4^{-2}$ , а именно, (2, 5, 3, 5, 2, 1, 8).

Если же предположить, что переход (частичный)  $\text{S}^{+6} + 6e \rightarrow \text{S}^0$  не осуществляется, то получим схему:



Предполагая, что часть условных ионов  $\text{S}^{+6}$  остается без изменений, получим:

$4\text{KMnO}_4 + 6\text{H}_2\text{S} + (4 + X_1)\text{H}_2\text{SO}_4 = X_2\text{S} + 4\text{MnSO}_4 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + X_3\text{H}_2\text{O}$  ;  
 отсюда следует:  $X_1 = 23$ ;  $X_2 = 143$ ;  $X_3 = 323$  или же



Вышеуказанный пример, очевидно, не единственный, можно привести также более простые случаи. Например,  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{J}_2 + \text{O}_2$  с линейно независимыми наборами (5, 2, 6, 1, 5) и (1, 2, 2, 1, 3) или же



**ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐԻ ՍՏԵՆԻՈՄԵՏՐԻԱԿԱՆ  
 ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԸ ԳՏՆՆԼՈՒ ՄԵՔՈՂԻ ՄԱՍԻՆ**

Վ. Ս. ՀԱԿՈՅԱՆ

*Առաջարկված է քիմիական ռեակցիաների հավասարեցնող գործակիցների բոլոր հնարավոր համախմբերը որոնելու ընդհանուր մեթոդ, որի հիման վրա գտնված են այն պայմանները, որոնց դեպքում տվյալ ռեակցիան թույլատրում է հավասարեցնող գործակիցների գծային անկախ համախմբեր: Ելնելով դրանից, փորձ է արված տեսականորեն կանխագուշակել առանձին ռեակցիաների ընթացքի որակա-քանակական հնարավոր ուղիները:*

**ON A METHOD OF DETERMINATION OF STOICHIOMETRIC  
 COEFFICIENTS OF CHEMICAL REACTIONS**

V. S. HAKOPIAN

A new method for determination of stoichiometric coefficients of chemical reactions is discussed.

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Кафаров В. В., Писаренко В. Н. — Усп. хим., 1980, т. 49, вып. 2, с. 193.
2. Кафаров В. В., Писаренко В. Н., Масчева Л. А., Смирнова О. Н. — ДАН СССР, 1974, т. 216, № 2, с. 342.
3. Димитров В. П. — Простая кинетика. Наука, СО АН СССР, Новосибирск, 1982, с. 128.
4. Герасимов Я. И. — Курс физической химии. М., Химия, 1969, с. 566.